

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公告

## ⑪ 特許公報(B2)

平5-7659

⑫ Int. Cl.<sup>3</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公告 平成5年(1993)1月29日

G 01 P 5/10

H

8708-2F

発明の数 4 (全21頁)

⑭ 発明の名称 流速センサ

審判 平1-19410

⑮ 特 願 昭58-244964

⑯ 公 開 昭60-142268

⑰ 出 願 昭58(1983)12月27日

⑱ 昭60(1985)7月27日

⑲ 発 明 者 ロバート・ジー・ジョ ンソン アメリカ合衆国ミネソタ州ミネアポリスマーチサークル第12814番地

⑲ 発 明 者 ロバート・イー・ヒガ シ アメリカ合衆国ミネソタ州ミネアポリスサウスイースト第8番ストリート第810番地 アパートメント20

⑲ 発 明 者 フイリップ・ジェイ・ボーレエ アメリカ合衆国ミネソタ州ミネアポリスアルドリッチアベニューサウス第4456番地

⑲ 出 願 人 山武ハネウエル株式会社 東京都渋谷区渋谷2丁目12番19号

⑲ 代 理 人 弁理士 松下 義治

審判の合議体 審判長 官 本 昭 男 審判官 奥 村 寿 一 審判官 上 原 徹

⑲ 参 考 文 献 特開 昭56-18381 (JP, A) 実開 昭50-61080 (JP, U)

1

## ⑲ 特許請求の範囲

1 結晶面(100)と結晶軸〔110〕を有し、かつ、最上表面に形成されてなる空気スペースを有するシリコン半導体基板と、

一対の熱感知センサの一方とヒータの一部とを含み、薄膜の絶縁層により包まれてなる薄膜部材であつて、上記結晶面(100)に対してほぼ平行となる平面上に配置されるとともに上記空気スペースに位置するように、少なくともその一端が上記半導体基板に保持され、そのほとんど大部分がこの基板と非接触状態に配置される第1の薄膜部材と、

一対の熱感知センサの他方と上記ヒータの残部とを含み、薄膜の絶縁層により包まれてなる薄膜部材であつて、上記結晶面(100)に対してほぼ平行となる平面上に配置されるとともに上記空気スペースに位置するように、少なくともその一端が上記半導体基板に保持され、そのほとんど大部分がこの基板と非接触状態に配置される第2の薄膜部材と、  
を具備するとともに、

2

上記一対の薄膜の熱感知センサは、上記ヒータを挟んで位置して成ることを特徴とする流速センサ。

2 薄膜の絶縁層は、窒化シリコンから成ることを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の流速センサ。

3 結晶面(100)と結晶軸〔110〕を有し、かつ、最上表面に形成されてなる空気スペースを有するシリコン半導体基板と、

一対の熱感知センサの一方とヒータの一部とを含み、薄膜の絶縁層により包まれてなる薄膜部材であつて、上記結晶面(100)に対してほぼ平行となる平面上に配置されるとともに上記空気スペースに位置するように、少なくともその一端が上記半導体基板に保持され、そのほとんど大部分がこの基板と非接触状態に配置される第1の薄膜部材と、

一対の熱感知センサの他方と上記ヒータの残部とを含み、薄膜の絶縁層により包まれてなる薄膜部材であつて、上記結晶面(100)に対してほぼ平行となる平面上に配置されるとともに上記空気

3

スペースに位置するように、少なくともその一端が上記半導体基板に保持され、そのほとんど大部分がこの基板と非接触状態に配置される第2の薄膜部材と、

上記第1および第2の薄膜部材同士を連結する連結部材と、  
を具備するとともに、

上記一对の薄膜の熱感知センサは、上記ヒータを挟んで位置して成ることを特徴とする流速センサ。

4 薄膜の絶縁層は、窒化シリコンから成ることを特徴とする特許請求の範囲第3項記載の流速センサ。

5 結晶面(100)と結晶軸〔110〕を有し、かつ、最上表面に形成されてなる空気スペースを有するシリコン半導体基板と、

上記結晶面(100)に対してほぼ平行となる平面上に配置されるときともに上記空気スペースに位置するように、少なくともその一端が上記半導体基板に保持され、そのほとんど大部分がこの基板と非接触状態に配置される薄膜のヒータと、

上記結晶面(100)に対してほぼ平行となる平面上に配置されるときともに上記空気スペースに位置するように、少なくともその一端が上記半導体基板に保持され、そのほとんど大部分がこの基板と非接触状態に配置される一对の薄膜の熱感知センサと、

上記半導体基板に設けられる周囲温度を検出するための比較抵抗素子と、

この比較抵抗素子と上記薄膜のヒータとを含むブリッジ回路を制御するための電子回路を具備し、

上記一对の薄膜の熱感知センサの各々は上記ヒータの対向する両側面に配置され、

上記ヒータは、上記電子回路により、周囲温度より一定の高い温度で駆動されることを特徴とする流速センサ。

6 結晶面(100)と結晶軸〔110〕を有し、かつ、最上表面に形成されてなる空気スペースを有するシリコン半導体基板と、

薄膜の絶縁層により包まれて薄膜部材を形成し、更に、上記結晶面(100)に対してほぼ平行となる平面上に配置されるときともに上記空気スペースに位置するように、上記薄膜部材の少なくと

4

も一端が上記半導体基板に保持され、そのほとんど大部分がこの基板と非接触状態に配置される薄膜のヒータと、

薄膜の絶縁層により包まれて薄膜部材を形成し、更に、上記結晶面(100)に対してほぼ平行となる平面上に配置されるときともに上記空気スペースに位置するように、上記薄膜部材の少なくとも一端が上記半導体基板に保持され、そのほとんど大部分がこの基板と非接触状態に配置される一对の薄膜の熱感知センサと、

上記半導体基板に設けられる周囲温度を検出するための比較抵抗素子と、

この比較抵抗素子と上記薄膜のヒータとを含むブリッジ回路を制御するための電子回路を具備し、

上記一对の薄膜の熱感知センサの各々は上記ヒータの対向する両側面に配置され、

上記ヒータは、上記電子回路により、周囲温度より一定の高い温度で駆動されることを特徴とする流速センサ。

#### 発明の詳細な説明

本発明は空気の流れ速度を測定する流速センサに関する。市販されている空気の流れの中にそう入する長いプローブの先に、1本の熱線がサーミスタを配置するものである。これは、空気の流れによる冷却効果によつて引き起される温度低下と、それにともなう電気抵抗値の変化により空気の流れ速度を測定するものである。こういうデバイス構成であるからセンサエレメントは空気の流れにさらされるので、破損や汚れを受け易いのである。しかもこの空冷による温度変化は全く直線性がないため、得られる電気信号を電子回路により、リニアライズすることが必要となる。さらにこれらは高価であり、量産には適さない。

本発明に関連しているものとして、次のような市販されている質量流量センサがある。このセンサは、空気やその他の測定ガスが通りぬける金属管と、この金属管の1区域を抵抗加熱する変圧器と、この区域に装着されている2ヶの大きなヒートシンクと、この熱区域の中心とヒートシンク間の熱区域の中間に対称的に金属に取付けられる2ヶの熱電対から構成される。金属管を通してこの空気の流れが、上流にある熱電対を冷やし、下流にある熱電対を熱する。変圧器が一定の電力で

駆動されているとき、この熱電対の出力電圧の差が質量流量の測定のめやすとなる。これはかなり電力を必要とする大きな装置である。大きなダクトの内や、屋外での流量測定には適さないし、高価であり量産もできない。

したがって、次のような特性を有する流速センサもしくは質量流量センサと、これに関連する信号処理回路が必要とされている。寿命が長く、メンテナンスフリーで、小型で、低消費電力で、広範囲な分野へ簡単に適用でき、大きな出力信号を有し、そして広い速度レンジにわたって直線性があるかあるいは容易に直線化できる出力特性を有するようなものである。更に量産が可能で、低価格なものでなければならない。

文献にはこれらの要求に関連して、流速センサを改善しようとなされたいくつかの試みが示されている。これらの試みは、以下に述べるように、一般的には、焦電材料は、シリコンとその半導体特性を利用しようとするものである。これらの試みはいくつかの点で技術的な改善をもたらしたが、現在の流速センサとして求められている沢山の特性に関して、いまだ不満足なものである。本発明は、いかなる従来技術と比べても大巾にこれらの要求を満足するように、技術的に進歩している。次に、よく知られている最も関連が深い従来技術について述べることにする。

ヒュイジング (\*1) らが発明した流速センサは、シリコンチップの両端近傍に埋め込まれた拡散型トランジスタからなる同一の2つの温度検知素子と、これらの中薪心に配置されシリコンチップを空気温度により45°C熱するための拡散型トランジスタからなるヒータ素子から構成される。空気が流れると流れの上流に位置する温度検知素子は、下流に位置する温度検知素子よりもわずかに冷やされ、この2つの温度検知素子の温度差が電流の差になり、電圧に変換されて空気の流速が測定される。この温度検知素子は、感知できる程度の温度差を実現するために、チップの対向する両端に配置させなくてはならないが、それでも生ずる温度差は小さく、0~50cm/秒の速度範囲で0~0.2°C以下の温度変化にすぎない。

\*1 J. H. Huijsing, et al : IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. ED-29, No. 1, pp.133-136, January, 1982

バツブツテン (\*2) らが発明した流速センサは、シリコンチップの向い合う各4辺上に埋め込まれた同一の拡散型抵抗素子から構成される。すべての抵抗素子は自己発熱し、これによりシリコンチップは流れてくる空気の温度によりかなり熱せられる。抵抗素子は電気的な2重ブリッジ回路で駆動される。空気の流れがないとき、すべての抵抗素子は同一温度になるので、2重ブリッジ回路は電気的にバランスする。空気の流れがあるとき、流れに対して垂直な上流及び下流の抵抗素子は、流れに対して平行な両側の抵抗素子より冷やされることになる。この温度差が2重ブリッジのバランスをくずし、空気の流れ速度が測定される。

\*2 A. F. P. Van Putten, et al : Electronics Letters, Vol.10, No. 21, pp.425 - 426, October, 1974

マリン (\*3) らが発明した質量流量センサは、大きなシリコン細片上の拡散型抵抗素子からなる2つのセンサと、そのセンサの間の中心に配置される拡散型のヒータ素子から構成される。この技術は市販されている金属管を熱するタイプの質量流量センサに類似している。空気の流れにより、流れの下流に位置するセンサは熱せられ上流に位置するセンサは冷やされるので、これらのセンサの温度の差がセンサ両端に生ずる電圧の差をもたらす、質量流量が測定される。

\*3 K. Malin, et al : IBM Technical Disclosure Bulletin, Vol.21, No. 8, January, 1979

ラハナマイ (\*4) らは、結晶学的に配置される磨かれた単結晶のタンタル酸リチウムの薄い板の背面全面に金属薄膜を付着させ、表面中心には薄膜状に付着させたヒータ抵抗素子を配置し、これから同じ距離離れて配置される2つの薄膜電極とから構成されるセンサを開示している。ここでタンタル酸リチウムの大きさは、長さ8mm、巾4mm、最小板厚は0.06mmである。文献に述べられているように、この板の下を空気が流れるようにするために、この板の両端を大きなネジ頭の上に支持させている。上流と下流に位置する2つの電極は、背面の電極面との間で分離した同一のコンデンサを構成し、温度検知用のコンデンサとして働く。動作は、例えば2~10Hzのような低い周波

数の電圧でヒータ素子を駆動することで、ヒータ素子を、流れる空気の温度に対して周期的に熱する。センサ素子も、タンタル酸リチウムと通しての熱伝導により、これに対応して周期的に熱せられることになる。このタンタル酸リチウムは焦電材料であることから温度に対応して分極を生ずることになるが、空気の流れがないときには、2つのセンサに発生する周期的な分極電圧は同一のものとなる。従つて空気の流れがないときの2つのセンサの間の電圧の差は0となる。文献でも述べられているように、空気の流れがあるとき、上流に位置するセンサ素子は下流に位置するセンサ素子よりも冷やされることになるので、これらのセンサの温度の差が電圧の差をもたらし流速が測定される。

\* 4 H. Rahnamai, et al : paper presented at the 1980 International Electron Devices Society of IEEE, Wastington D.C., pp.680-684, December 8-10, 1980

前述したように、これらの試みはいくつかの点で技術的な改善をもたらしたが、現在のセンサとして求められている沢山の特性に関しては、いまだ不満足なものである。本発明は、これらの要求を十分満足すべく技術を進歩させたものである。

本願の第1の発明は、熱伝導率の比較的小さい薄膜の絶縁層で熱感知センサとヒータとを包んだ2つの薄膜部材を、半導体基板の表面にエッチングにより形成された空気スペースに位置するように、少なくともその一端が上記半導体基板に保持されることにより、上記基板と非接触状態にして、かつ、極めて隣接して配置し得る構成としたものである。

次に、第2の発明は、上記第1の発明の改良に係り、第1および第2の薄膜部材を同一平面上に保つべく連結取段を設けた構成としたものである。

更に、第3および第4の発明は、薄膜のヒータ、一對の薄膜の熱感知センサに加えて、周囲の温度をモニタするため、シリコン基板とヒートシンクとした周囲温度検出手段と、ブリッジ回路制御手段を設け、薄膜のヒータを周囲温度より一定の

高い温度で駆動し得る構成としたものである。本発明の具体的な実施例として、基板20は半導体、その中でも特に精密なエッチング技術を用

コンが選択される。そしてこの基板上に形成される格子形状をなくす全く同一の測温抵抗素子は薄膜の熱感知センサ22, 24として働き、この2個のセンサの中央部に配置される格子形状をなくす発熱抵抗素子は薄膜のヒータ26として働く。熱感知センサ22, 24及びヒータ26としては、鉄とニッケルの合金、例えば80%のニッケルと20%の鉄からなるパーマロイといったものを使うことが適している。これら熱感知センサ22, 24及びヒータ26は、例えば窒化シリコンからなる薄膜の絶縁層28, 39により包まれて、薄膜部材を形成する。第1図及び第2図の実施例に示すように、センサは、ヒータ26の半分と熱感知センサ22からなる薄膜部材32と、ヒータ26の半分と熱感知センサ24からなる薄膜部材34とから構成され、巾150 $\mu$ 長さ400 $\mu$ の大きさを有する。

更に本発明で開示するセンサは、熱感知センサ22, 24及びヒータ26を効果的に囲む空気スペース30を有する。この空気スペース30はシリコンの表面36に微細構造をもつて形成される。すなわち熱感知センサ22, 24及びヒータ26は、約0.08~0.12 $\mu$ の厚さで線間に約5 $\mu$ の空間を有する巾5 $\mu$ の緩からなり、しかもこれらは全体の厚さが約0.8 $\mu$ 以下になるような窒化シリコンの薄い膜によつて包まれるように構成される。そしてエッチングによりくぼみである空気スペース30が、薄膜部材32, 34の下にシリコン基板20の中に125 $\mu$ の深さで正確に形成される。薄膜部材32, 34は、空気スペース30の1つまたはそれ以上のエッチにおいて、シリコンの基板20の表面36の最上部に接続される。例えば第3図に示すように、薄膜部材32, 34は、空気スペース30を架橋するように、あるいは第3A図に示すように片持ちばりで構成することもできる。

窒化シリコンは非常に優れた熱的絶縁体である。薄膜部材32, 34を包む窒化シリコンの膜が極めて薄くかつ熱的絶縁もよいことから、窒化シリコン膜によるヒータ26の熱の損失は極めて小さく、ヒータ26から熱感知センサ22, 24に伝わる熱のほとんどがヒータ26を取り囲む空気を通して伝えられることになる。すなわち窒化シリコン膜の熱伝導率が小さいことから、熱感

知センサ22と24をヒータ266に極めて隣接して配置することができ、ヒータ26からの熱のほとんどは窒化シリコン膜を通らずにヒータ26を取り囲む空気を通して伝えられることになる。そして、ヒータ26近傍の空气中に効果的に強固にささえられた熱感知センサ22、24は、ヒータ26の面とその近傍の空気の温度を測定するプローブとして働くことになる。

空気の流速を検出するという本発明の原理を第2図に基いて説明する。ヒータ26は、基板20の温度より200℃高くなる一定の温度に加熱される。このシリコンの基板20の温度は流れている空気の温度とほとんど同じものである。具体的には、シリコンの基板20がTO-100タイプのメタルヘッドもしくはサーディブパッケージのようなヒートシンクに搭載されている場合は、シリコンの基板20の温度は流れている空気の温度より0.5℃程度高くなるにすぎない。又、ヒータ26の温度を流れる空気の温度より200℃高く保つといつても0.01Wより小さな電力が要求されるにすぎない。

ヒータ26からの熱伝導の大部分は空気スペース30も含んだ周囲の空気を通して行われるが、本発明の実施例において空気の流れがないとき、熱感知センサ22と24は平均温度で約140℃(200℃の約70%)に熱せられる。すなわち、図に示すように、熱感知センサ22と24はヒータ26に対して正確に対称に配置されるので、空気の流速が0のときにはこの2つのセンサの温度は同一になり、この2つのセンサの抵抗値の差は生じない。従って0.1から1.0mAの微小測定の電流を流しても、この2つの熱感知センサに電圧の差は発生しないことになる。

空気の流れがあるときには、この実施例において上流に位置する熱感知センサ22はヒータ26へ向う空気の流れにより熱が運び去られるので冷やされ、一方、下流に位置する熱感知センサ24はヒータ26からの空気の流れによつて熱せられることになる。これによつて生ずる熱感知センサ22と24の間の抵抗値の差が電圧値の差をもたらす流速が測定される。増巾しないときのこの電圧の差は、760cm/秒の空気の流れ速度において0.1V程度のものである。

本発明においては、熱感知センサ22と24は

定電流で駆動され、前述したように空気が流れている状態のもとでの温度のバランスの変化を検出するように構成されている。なお、2つのセンサを定電圧モードで駆動するとか、定温度モードで駆動するとか、定電力モードで駆動するとかいうように、信号に生じさせるような方法であればこれに替わる他の方法で構成しても実現は可能である。

ヒータ26と熱感知センサ22、24の熱容量が極めて小さいことと、基板への接続手段である窒化シリコン膜により与えられる熱的絶縁性と、空気スペース30の存在により、本発明の応答性は測定結果によれば時定数が0.005秒と非常に速いものとする。すなわち熱感知センサ22と24は空気の流れの変化に非常に速く応答できることになる。

本発明において、ヒータ26は空気の温度に対して一定の温度となるように駆動され、熱感知センサ22と24は定電流で駆動されることから、熱感知センサ22と24の温度変化は抵抗値の変化として検知されることになる。これらの機能を実現するための回路例を第4図及び第5図に示す。第4図に示された回路はヒータ26の温度を制御するためのものであり、第5図に示された回路は熱感知センサ22と24の間の抵抗値の差に比例する信号電圧を得るためのものである。

本発明において周囲の空気の温度は、シリコンの基板20をヒートシンクとして形成される比較抵抗38によつてモニタされる。比較抵抗38は、熱感知センサ22、24及びヒータ26と同様に格子状のパーマロイによつて構成されかつシリコンの表面36上に絶縁層28と29に包まれて配置される。

本発明において周囲の空気の温度は、シリコンの基板20をヒートシンクとして形成される比較抵抗38によつてモニタされる。比較抵抗38は、熱感知センサ22、24及びヒータ26と同様に格子状のパーマロイによつて構成されかつシリコンの表面36上に絶縁層28と29に包まれて配置される。

絶縁層28と29の厚さは合わせて0.8μと非常に薄いため相対的に熱伝導がよくなることから、これらの絶縁層の垂直方向を通して、熱感知センサ22、24、ヒータ26、比較抵抗38にと熱

が出入りすることになる。比較抵抗38は絶縁層に包まれて基板20の表面36に直接取り付けられており、ヒータ26がまわりの温度より200℃高く熱せられていても周囲の空気の温度と0.5℃以内の範囲にある基板20の温度を容易にモニタ

5 できることになる。すなわち比較抵抗38は、基板20の温度を検知することにより、それとほとんど一致する流れる空気の温度を検知することになる。

第4図に示される温度制御回路は、ヒータ2610の温度を、比較抵抗38によつて検出される周囲温度よりも高い一定温度に保つためのホイートストンブリッジ回路46により構成される。ここで前述したように本発明の実施例では、この一定値は約200℃に設定されている。ホイートストンブリッジ回路46は、ヒータ26と抵抗40により15一辺を、比較抵抗38と抵抗42、44により一辺を構成している。アンプ48と50からなる積分回路は、出力の電位を変化させることでブリッジ回路46がバランスするように動作し、ヒータ26によつて消費される電力を一定に保つようにする。

第5図に示す回路は、この実施例において空気の流れの上流に位置する熱感知センサ22と、下流に位置する熱感知センサ24との間の抵抗値の25差を検出するためのものである。この回路は、アンプ72からなる定電流電源部52と、アンプ68と70からなる差動増巾部54から構成される。定電流電源部52は、1辺に高インピーダンス抵抗56、58と、他辺に零調用可変抵抗6030及び熱感知センサ22、24を有するホイートストンブリッジ回路を駆動する。差動増巾部54の利得は可変抵抗62により調整される。出力端64は熱感知センサ22と24の間の抵抗値の差に比例する出力電圧する。

本実施例においては、アンプ48、50、66、72には4ケのアンプをもつLM324の各々のアンプを使用し、アンプ68と70には2ケのアンプをもつOP-10の各々のアンプを使用している。

本発明で開示するセンサの特徴の1つとしては、広いレンジの空気の流れ速度に対して、熱感知センサ22と24の感知する温度の差が大きくとれるようにと構成されている点があげられる。

この結果、空気の流れ速度の関数となる出力端64の出力が大きくとれるので、流速測定精度が著しく高められ測定も容易となる。この温度の差が大きくとれることを、本発明の具体的実施例によつて得られる第6図に示す。すなわち、空気の流れて冷やされる上流に位置する熱感知センサ22と、ヒータ26からの熱により熱せられる下流に位置する熱感知センサ24という2つのセンサの出力を結びつけることで、大きな温度差の効果10が得られるのである。この熱することと冷やすことを結びつけて大きな温度差を得るためには、

(1) 熱感知センサ22、24を空気と比較強く熱的に接触させることが必要となる。すなわち熱感知センサ22、24がシリコンの基板20から実質的に熱的に絶縁されなくてははいけない。そしてこれは、薄膜部材32、34を含む窒化シリコン膜の流手方向に沿った方向の熱伝導率が比較的小さいということ、薄膜部材32、34と基板20の間に約125μの深さで正確に形成される空気スペース30により可能となる。

(2) この実施例において空気の流れの上流に位置する熱感知センサ22を大きく冷やすことが必要となる。これには熱感知センサ22の温度を高く設定する必要がある。そしてこれは、空気スペース30を介することで熱感知センサ22をシリコンの基板20から熱絶縁することと、薄膜部材32の長手に沿った方向の熱伝導率が小さいということと、ヒータ26の温度を高く設定することによつて可能となる。このヒータ26の温度が高く設定できるためにも、空気スペース30を介してヒータ26をシリコンの基板20から熱的に絶縁することと、薄膜部材32、34の長手に沿った方向の熱伝導率が小さいということが必要である。

35 (3) この実施例において空気の流れの下流に位置する熱感知センサ24を、ヒータ26からの熱を伝えることで大きく熱することが必要となる。これは空気スペース30を介することで熱感知センサ24をシリコンの基板20から熱的に絶縁することと、薄膜部材34の長手に沿った方向の熱伝導率が小さいということと、ヒータ26の温度を高く設定することによつて可能となる。このヒータ26の温度が高く設定できるためにも、空気スペース30を介してヒータ

26をシリコンの基板20から熱的に絶縁すること、薄膜部材32, 34の長手に沿った方向の熱伝導率が小さいということが必要である。

- (4) 熱感知センサ22と24の中心と、ヒータ26のエツチ部の間の距離を最適な値に選択する必要がある。

第7図には、空気の流れ速度が0のときの理想化された空気の温度分布曲線74と、空気の流れ速度がある任意の値のときの理想化された空気の温度分布曲線76と、理想的に挟ばめられた熱感知センサ22と24の最も適切な配置距離を示す。ヒータ26に対して流れの上流側は空気で冷やされることから、この温度分布曲線はこの側で距離の関数である $\Delta T1$ という値だけ下げられることになる。ここで、この $\Delta T1$ はヒータ26の上流側のエツチからD1離れた位置で最も大きくなる。一方、流れの下流側はこの流れによつて伝わる熱で距離の関数である $\Delta T2$ という値だけ温度が上がることになる。ここでこの $\Delta T2$ は、ヒータ26の下流側のエツチからD2離れた位置で最も大きくなる。D1とD2は等しい値である必要はないが、流れの速度が0のとき流速センサからの出力が0となるようにするために、流れ速度が0のときには熱感知センサ22と24の温度は等しくなくてはならない。このため本発明の望ましい実施例としては、熱感知センサ22, 24が実際には巾をもっていることを考慮し、熱感知センサ22の中心までの距離D1と熱感知センサ24の中心までの距離D2を等しくとる必要がある。これから、D1とD2が等しいという条件の下で、符号を考えなければ流速センサの出力は最大となるので、熱感知センサ22上にわたる $\Delta T1$ の平均値と、熱感知センサ24上にわたる $\Delta T2$ の平均値の合計が最大となることになる。以上のことはある適当な位置で起こることがみつけれられており、数百フィート/分の流れ速度の速度レンジにおいては、このD1(=D2)の値はヒータの巾のほぼ1/2の長さである。

従来技術による流速センサではわずかな温度差しか得られなかったのに対し、本発明では具体的数値を示すならば、860cm/秒の流れ速度におい

ては $\Delta T1$ の平均値と $\Delta T2$ の平均値の合計が約50℃と比較的大きくとれる。これは、長手方向の伝導率の小さい非常に薄い窒化シリコンの膜で薄膜部材32, 34を包んだことと、熱感知センサ22, 24及びヒータ26を空気で囲むように空気スペース30を設けたことで、熱感知センサ22, 24及びヒータ26をシリコンの基板20から熱的に絶縁できるようになったことから可能になったのである。熱感知センサ22, 24及びヒータ26の下に形成される空気スペース30の巾とくぼみの深さの寸法を正確につくるには、後述する精密エツチング技術により実現される。この空気スペース30が精度よく形成されることにより、センサチップ間の熱的絶縁性のばらつきを均一にすることができる。すなわち、センサチップ間の空気の流れに対する応答のばらつきを均一にすることができる。

従来技術では、これらのセンサエレメントは、シリコンチップのような基板に埋められるとか密着させられるとかいうような構成がとられていた。このため、センサエレメントの有意な温度差を取り出すために、センサエレメントをヒータの巾に比較して長い距離だけヒータから離す必要があった。しかしこのような従来技術で得られる温度差は、熱的な絶縁を基に構成される本発明のそれに比べ、1/100程度の小さなものにすぎないのである。

ラハナマイらの従来技術を例にとるならば、ヒータとセンサのエレメントはタンタル酸リチウム板上に付着されている。(タンタル酸リチウムの固有伝導度はシリコンのそれよりも小さいが、窒化シリコンのそれよりも70%も大きな値を示す)。ヒータとセンサのエレメントは少なくとも60 $\mu$ の厚さを有するタンタル酸リチウム板に密着されて取付けられている。この60 $\mu$ という値は、本発明の薄膜部材32, 34を包む窒化シリコン膜の厚さである0.8 $\mu$ という値に比べ75倍に厚いものである。リチウム基板に密着したヒータエレメントと、そのエツチから0~500 $\mu$ の間の距離に広がって配置されるセンサエレメントとの間の熱の伝導は、センサとヒータとの間の空気を介するものより、60 $\mu$ のリチウム基板を介するもので支配されてしまうのである。すなわち、ヒータは空気によつて効果的に取囲まれてはいないため、ヒ-

15

タからセンサへの熱の大部分はリチウム基板を通して伝わってしまうことになる。この結果、この500 $\mu$ の巾を有するセンサは、本発明に比べ、空気の流れに対してわずかな温度の値しか変化できないことになる。ここで本発明のセンサは、ヒータのエッジから0~100 $\mu$ の間の距離に広がって配置される。

従来技術に対しての本発明のもう1つの長所は、熱感知センサ22、24及びヒータ26をシリコンの基板20から効果的に熱絶縁させるために設けられる空気スペース30である。これにより前述したように、シリコンの基板20の温度はおおよそ0.5℃以下という、ほとんど無視できる温度上昇に押えることができることになる。このため、本発明では、流速に対する出力特性は、シリコン基板とそれを支持するハウジングといったものとの間の熱的接触に全く依存しないということになる。これに対し従来技術では、センサの出力特性は取付け本体との熱的接触に大きく影響されていた。事実、ラハナマイらのセンサにおいても、出力特性は、取付け構造の方法に大きく影響されている。ヒュイジングらの従来技術においても、シリコンチップの固定台が流速に対する出力特性を悪くしていることが述べられている。パンブツテンらの従来技術においても、シリコンチップの熱的なショートを最小にするためにシリコンチップを普通に使われている200 $\mu$ から50 $\mu$ にと薄くしているが、このために固定台からの熱伝導により感度の低下を受け易くなる。マリンらの従来技術においても、熱的もろさを防ぐために長いシリコンの細片が用いられているが同様に固定台の影響を受けてしまうことになる。

本発明の2番目の長所は、広い流速レンジにわたって、熱感知センサ22と24の温度の差の直線性がよい点にある。従来技術においては、この温度の差は、流れ速度の平方根に比例している。この依存性のために、放物線的な出力特性として知られているように、流れ速度がVのときに流速がある値変化すると、2つのセンサの温度の差はその $\frac{1}{2\sqrt{V}}$ 倍だけ変化することになる。このよ

うな増分特性であるから、流速が速くなるほど変化は小さいものになってしまう。その結果、電子回路のノイズやドリフトによつて誤差を受け易く

16

なるのである。本発明は流速の変化に対しての出力特性の直線性が良好であるとともに、例えば0~1016cm/秒あるいはそれ以上の流速領域で得られる電気出力信号が増巾しないでも大きく取れるため、速い流速測定においてもドリフト等による誤差をほとんど無視できる程度にまで減らすことができる。本発明によるセンサの、流速に対するこの温度差の典型的な出力特性を第8図に示す。この図には合わせて、ヒュイジングからのセンサの特性も比較のために示してある。

具体的実施例として前述したように、本発明のセンサにおいて、ヒータ26の全抵抗値は第4図に示した回路により、任意の周囲温度において一定に保たれる。上述したような直線性のよい特性は、ヒータ26の近傍の温度分布に傾斜がある領域(第7図参照)の大部分をカバーするように十分広くまた適切に配置された熱感知センサ22と24を用いることで得られる。

このような構成にあつて、熱感知センサ22の内部エッジ76は、ヒータ26の近接エッジ78に極めて隣接(例えば5 $\mu$ の線巾)して配置されている。空気の流れがないとき、近接エッジ78からこの程度離れた近傍の空気温度はほとんど近接エッジ78の温度に一致する。具体的実施例として、熱感知センサ22と24はおおよそ100 $\mu$ の巾を有していることから、熱感知センサ22の外部エッジ80はヒータ26の近接エッジ78からおおよそ100 $\mu$ 離れて配置されている。空気の流れがないとき、この100 $\mu$ 程度離れた位置での空気温度は、ヒータ26の温度より周囲の空気温度すなわちシリコン基板の温度に近いものとなる(第7図参照)。このため、熱感知センサ22の外部エッジ80は、遅い空気の流れ速度でも簡単にシリコンの基板20の温度近くに冷やされてしまう。一方、熱感知センサ22の内側部分はヒータ26により密接に熱的に結合されているので、速い空気の流れに対しても、シリコン基板の温度近くに冷やされることはなく、速い空気の流速に容易にตอบสนองする。熱感知センサ22の各々の格子部からの温度変化効果が合成されると、流れの上流に位置するこのセンサの流速に対する温度特性は、広い流速レンジにわたつてより一定なものとなる。この特性は、ほぼ従来技術の場合に相当するヒータのエッジから離れたいかなる位置にある



単一の点素子またはライン素子による特性と、対照をなすものである。本発明の望ましい具体例により実測された熱感知センサ 2 2 の広い流速レンジにわたつてのこの直線性のある温度特性を第 6 図に示す。

流れの下流に装置する熱感知センサ 2 4 については、空気の流れによる熱伝達により抵抗値の増加が発生するが、上流に位置する熱感知センサ 2 2 の空冷による抵抗変化よりは小さいものである。しかし本発明では、熱感知センサ 2 4 の内部エツチ 8 4 とヒータ 2 6 の近接エツチ 8 6 との間隔は  $5\mu$ 、熱感知センサ 2 4 の外部エツチ 8 8 とヒータ 2 6 の近接エツチ 8 6 との間隔はおおよそ  $100\mu$  と、従来技術に比べて近接しているので、ヒータ 2 6 から熱感知センサ 2 4 への空気の流れによる熱伝達は広い流速レンジにわたつて効果的なものとなっている。主に空気スペース 3 0 によるこの効果的な熱伝達と熱感知センサ 2 4 の熱的絶縁により、広い流速レンジにわたつて、流速の増加とともに熱感知センサ 2 4 の温度が大きく上昇することになる。本発明の望ましい具体例により実測された、下流に位置する熱感知センサ 2 4 の流れ速度に対しての温度変化を第 6 図に示す。上流に位置する熱感知センサ 2 2 と、下流に位置する熱感知センサ 2 4 の流速に対する特性を合成すると、第 8 図に示す特性が得られる。この図から、ヒュイジングらの従来技術の特性カーブと比較して、広い流速レンジにわたつて直線性がある点、そして大きな信号レベルが得られる点がわかる。

本発明のセンサの流れ速度に対して大きな出力特性を有するという利点の 1 つとしては、センサ寿命を長くし乱流の影響からのがれるために流れ速度を減ずることが望まれているような分野への適用を促進させるという点がある。また本センサでは、空気の流れがシリコン基板面に平行となることと、シリコン基板面上に流れの遅い表面層が形成されるので空気の流れの速い領域は実質上この表面層から離れることになることから、薄膜の熱感知センサ 2 2、2 4 及び薄膜ヒータ 2 6 は、空気に含まれる粒子の衝突による損傷からまぬがれることができるという利点もある。

第 2 図において図式的に表わした熱感知センサ 2 2、2 4 及びヒータ 2 6 を、一実施例である第

9 図に詳細に示す。開口部 8 2 は、後述するエツチングを容易とするために窒化シリコン内に刻まれる。リード部 9 2 とバーマロイ板 9 0 は、薄膜部材 3 2 と 3 4 上における対称的な熱伝達特性を保証するために対称的に作られる。この実施例では、薄膜部材 3 2 と 3 4 の大きさは、おおよそ巾  $150\mu$ 、長さ  $300\mu$  である。熱感知センサ 2 2、2 4 及びヒータ 2 6 の厚さは  $0.08\mu$  であり、熱感知センサ 2 2、2 4 の抵抗値は  $740\Omega$  で、ヒータ 2 6 の抵抗は  $840\Omega$  である。熱感知センサ 2 2、2 4 の大きさは、おおよそ巾  $100\mu$ 、長さ  $175\mu$  である。前述したように、熱感知センサ 2 2 と 2 4 はヒータ 2 6 から 1 ライン巾 ( $5\mu$ ) 分、離れている。すなわち、熱感知センサ 2 2 の内部エツチ 7 6 はヒータ 2 6 の近接エツチ 7 8 から  $5\mu$ 、熱感知センサ 2 4 の内部エツチ 8 4 はヒータ 2 6 の近接エツチ 8 6 から  $5\mu$  だけ離れている。本発明の他の実施例については、特に述べないならば熱感知センサ 2 2、2 4 及びヒータ 2 6 の厚さは  $0.08\mu$  であり、格子を形成する線の巾は  $5\mu$  で線間の距離は  $5\mu$  であり、この格子は 80% のニッケルと 20% の鉄からなるバーマロイで構成されているものとする。本発明に述べられている他の寸法と同様に、これらの値は実際のデバイスにおいて使われた適切なものではあるが、アプリケーションに応じて変えるべきものであるからして、これに限定するものではない。

本発明の他の実施例を第 10 図に示す。第 9 図に示される実施例と同様に、第 10 図に示す実施例も、空気スペース 3 0 を架構する 3 2 A、3 4 A とラベル付けされた 2 つの薄膜部材から構成される。そして、分割されたヒータ 2 6 A が用いられており、薄膜部材 3 2 A 上にこのヒータ 2 6 A の半分が薄膜部材 3 4 A 上にこのヒータ 2 6 A の残り半分が配置される。センサ 2 2 A、2 4 A は、前述した熱感知センサ 2 2、2 4 より狭く、その大きさは、おおよそ巾  $90\mu$ 、長さ  $175\mu$  である。その上、センサ 2 2 A と 2 4 A は、ヒータ 2 6 A から  $25\mu$  と、前述した実施例よりも離れて配置される。すなわち、センサ 2 2 A のエツチ 7 6 A はヒータ 2 6 A のエツチ 7 8 A から  $25\mu$ 、センサ 2 4 A のエツチ 8 4 A はヒータ 2 6 A のエツチ 8 6 A から  $25\mu$  だけ離れて配置されている。この実施例では、薄膜部材 3 2 A、3 4 A の大きさはおおよ

19

そ巾 $150\mu$ 、長さ $350\mu$ であり、センサ22A、24Aの抵抗値は $670\Omega$ で、ヒータ26Aの抵抗値は $840\Omega$ である。更に第10図の実施例においては、薄膜部材32Aと34Aは、パーマロイ板96によつて強化された連結部94により連結される。この連結部94は、薄膜部材32Aと34Aを同一平面上に保つための役割を果す。リード部92Aは、薄膜部材32A、34Aの中心部の強度を増すために、薄膜部材32A、34Aの中心線に沿つて配置される。

予備実験によれば、同じ流れ速度についてみるならば、第10図の実施例の出力は、第9図の実施例の出力より約100%も大きいものであつた。しかしながら、これらの実験において、第9図の実施例は第1図に示すようにチップの中心位置に配置させたが、一方第10図の実施例はチップの端に配置させた。そのため、第11図に示すように空気スペース30Aの上流部分が開かれるか、あるいは第12図に示すように空気スペース30Aの下流部分が開かれることになり側壁により遮られないので、空気がより流れ易くなる。第11図の配置例と第12図の配置例では、どちらもチップの中心に配置する第9図の配置例より出力特性は大きくなるのであるが、第11図の方が第12図よりもかなり大きな出力を示した。第10図の実施例が第9図の実施例より大きな出力を示した点について、配置位置の違いからきているのか、設計上の違いからきているのか、あるいはその両方が関与しているのか、いまだ判明していない。第11図の実施例においては、基板20Aの先端エツチの少なくとも一部分を取り除くという変更ができることを書き留めておく。すなわち、例えば基板20Aの部分118を線120のところまで取り除くことで、薄膜部材32Aの先端エツチの露出を大きくさせていくといったことである。そして、第11図の実施例が、チップの中心に配置された第9図の実施例よりかなり大きな出力特性を示したことについては、少なくとも以下に示す2つの観点から説明され得ることを書き留めておく。第1の点は、前述したように第11図の実施例では空気スペース30Aの上流部分が開かれるので、側壁によつて遮られない流れを受けることになるからである。このように、この薄膜部材32Aと34A、特に32Aの先端エツチ部

20

はより流れを受け易くなることになる。第2の点は、第17図に示すように、シリコン基板20Aの先端エツチから始まる自由流速包絡線37Aが、第16図に示すシリコン基板20の先端エツチから始まる自由流速包絡線37より、薄膜部材32A、34Aを高速の流れに近く置いていることがわかる。包絡線37の場合、第16図に示す薄膜部材32、34は、第17図に示す薄膜部材32A、34Aに比べ速い流れ速度に対して遠くなることから、速い流速に露出されることも少なくなる。

第13図に示す実施例では、センサ22C、24Cとヒータ26Cは、空気スペースを架橋する別々の薄膜部材上に配置されている。この実施例では、ヒータ26Cはセンサ22C、24Cの近い方のエツチから $50\mu$ 離れて配置される。すなわち、ヒータ26Cのエツチ78Cはセンサ22Cのエツチ76Cから $50\mu$ 、ヒータ26Cのエツチ86Cはセンサ24Cのエツチ84Cから $50\mu$ 離れて配置される。この実施例では、センサ22C、24C及びヒータ26Cの抵抗値は $1000\Omega$ で、大きさはおよそ巾 $135\mu$ 、長さ $150\mu$ である。そして3つの架橋部の大きさはおよそ巾 $150\mu$ 、長さ $300\mu$ である。パーマロイ板90Cは薄膜部材の強度を増すためと、リード部92Cからみて架橋部の両端の熱伝達特性をほぼ同じものとするために加えられる。

第13図に示すセンサの出力特性は、第9図及び第10図に示すセンサの出力特性よりかなり小さなものであつた。これは、ヒータ26Cとセンサ22C、24Cとの間を $50\mu$ と広げたことと、センサの巾を大きくしたことでセンサとヒータとの中心線の距離が広がったことに起因していると考えられる。従つて第13図の実施例と関連づけて第7図を参照するならば、センサ22Cと24Cの中心線は適切な距離D1、D2よりかなり離れて配置されることになり、その結果、一定の流れ速度においてセンサ22Cと24Cとの間で得られる平均的温度差はかなり小さくなつてしまうのである。

第7図に関連して前述したように、1つのセンサ全体にわたつて $\Delta T1$ の平均値と、他方のセンサ全体にわたつての $\Delta T2$ の平均値の合計値を最大にするようにすることが望ましい。これは理想

的には、抵抗値は非常に小さなものとなるが非常に狭いセンサエレメントを使うことで、最も適切に実行できるであろう。しかしながら実用的な回路的考察から、センサの抵抗値は少なくとも100Ω以上は要求され、700Ωから1000Ωの間にあることが望ましいのである。この要求と、薄膜部材構造の長さにかかる実際の制限と、気流密度上の制限と、これらと関連する抵抗素子の薄膜の厚さとを結びつけると、適当な抵抗値を実現するために、センサ格子の巾は少なくとも75μは必要であるということになる。これらのことから、望ましい実施例のセンサの巾はそれ程狭くできなくて、多少の巾を有することになる。第7図に示された理想的な温度カーブ上の $\Delta T_1$ の平均値と $\Delta T_2$ の平均値の合計を最大にするためには、巾が75μかそれ以上という結果となつたが、センサのエツヂをヒータのエツヂに近づけなくてはならないため、第9図の実施例において、窒化シリコンの絶縁層を通してヒータからセンサのエツヂに伝わる望ましくない熱は無視できるものではなくなる。従つて出力特性も最大となろうというものよりは小さくなつてしまう。5μというわずかなスペースにしたことにより、実測された出力特性は従来技術の3~5倍であつたが、第10図の実施例の出力特性とはほとんど同じかむしろいく分小さなものであつた。これらの考察の結果から次の結論が導き出される。実施例において、他の寸法を等しいままにして窒化シリコン膜の厚さ0.8μを厚くすると、流速に対する出力特性が大きく低下することになる。これは、厚さを増すと、これを30 通しての熱伝導が増加することで、センサはヒータにより密接に熱的に接合されてしまうことになるからである。

第13図の実施例の考えられる欠点としては、ヒータと2つのセンサが空気スペースを架橋する別々の薄膜部材上にあることから、製造過程を通しての色々な種類の物理的変形といったもので、ヒータとセンサの1部が同一平面でなくなりがちになることにある。この欠点は、第9図及び第10図の実施例では実質上無視できるものであることに注意しておく。すなわち、各々のセンサは直接同一薄膜部材上にあるヒータの一部に隣接するので、ヒータとセンサはほぼ同一平面上にあることが保証されるのである。

第14図に示す実施例において、連結部94Dによつて連結された薄膜部材32D、34Dは、各々その上にヒータ26Dとセンサ22D、24Dの半分ずつを直列に配置して、空気スペース上に架橋されている。センサ22Dと24Dの熱的バランスを保証するために、パーマロイの格子22D、24D、26Dとパーマロイ板90D、90DD及びリード部92Dは、180°の回転対称を有している。パーマロイ板90Dは、薄膜部材の中心線に沿つた強度を増すために設けられ、パーマロイ板90DDは薄膜部材の中心線に沿つた強度を増すとともに、対照的な熱伝達特性を与えるためのものである。この実施例において、空気の流れは、今まで述べた薄膜部材の横方向に沿つて合わされる実施例とは異なる、典型的には薄膜部材の流さ方向に合わされる。センサ22D、24Dは比較的狭く、各センサの半分の大きさは巾75μ、長さ135μである。ヒータ26Dのエツヂとセンサ22D、24Dは25μ離されている。各薄膜部材上に、センサ22D、24D及びヒータ26Dの半分ずつをもたすことが、同一平面を保証することを助けている。第14図の実施例において、各薄膜部材の大きさは巾150μ、長さ480μであり、ヒータ26Dの抵抗値は1300Ωで、センサ22D、24Dの抵抗値は1050Ωである。この実施例の流れに対する出力特性は、前述した実施例に比べて小さなものである。これは、薄膜部材の下50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100 105 110 115 120 125 130 135 140 145 150 155 160 165 170 175 180 185 190 195 200 205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 270 275 280 285 290 295 300 305 310 315 320 325 330 335 340 345 350 355 360 365 370 375 380 385 390 395 400 405 410 415 420 425 430 435 440 445 450 455 460 465 470 475 480 485 490 495 500 505 510 515 520 525 530 535 540 545 550 555 560 565 570 575 580 585 590 595 600 605 610 615 620 625 630 635 640 645 650 655 660 665 670 675 680 685 690 695 700 705 710 715 720 725 730 735 740 745 750 755 760 765 770 775 780 785 790 795 800 805 810 815 820 825 830 835 840 845 850 855 860 865 870 875 880 885 890 895 900 905 910 915 920 925 930 935 940 945 950 955 960 965 970 975 980 985 990 995 1000 1005 1010 1015 1020 1025 1030 1035 1040 1045 1050 1055 1060 1065 1070 1075 1080 1085 1090 1095 1100 1105 1110 1115 1120 1125 1130 1135 1140 1145 1150 1155 1160 1165 1170 1175 1180 1185 1190 1195 1200 1205 1210 1215 1220 1225 1230 1235 1240 1245 1250 1255 1260 1265 1270 1275 1280 1285 1290 1295 1300 1305 1310 1315 1320 1325 1330 1335 1340 1345 1350 1355 1360 1365 1370 1375 1380 1385 1390 1395 1400 1405 1410 1415 1420 1425 1430 1435 1440 1445 1450 1455 1460 1465 1470 1475 1480 1485 1490 1495 1500 1505 1510 1515 1520 1525 1530 1535 1540 1545 1550 1555 1560 1565 1570 1575 1580 1585 1590 1595 1600 1605 1610 1615 1620 1625 1630 1635 1640 1645 1650 1655 1660 1665 1670 1675 1680 1685 1690 1695 1700 1705 1710 1715 1720 1725 1730 1735 1740 1745 1750 1755 1760 1765 1770 1775 1780 1785 1790 1795 1800 1805 1810 1815 1820 1825 1830 1835 1840 1845 1850 1855 1860 1865 1870 1875 1880 1885 1890 1895 1900 1905 1910 1915 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015 2020 2025 2030 2035 2040 2045 2050 2055 2060 2065 2070 2075 2080 2085 2090 2095 2100 2105 2110 2115 2120 2125 2130 2135 2140 2145 2150 2155 2160 2165 2170 2175 2180 2185 2190 2195 2200 2205 2210 2215 2220 2225 2230 2235 2240 2245 2250 2255 2260 2265 2270 2275 2280 2285 2290 2295 2300 2305 2310 2315 2320 2325 2330 2335 2340 2345 2350 2355 2360 2365 2370 2375 2380 2385 2390 2395 2400 2405 2410 2415 2420 2425 2430 2435 2440 2445 2450 2455 2460 2465 2470 2475 2480 2485 2490 2495 2500 2505 2510 2515 2520 2525 2530 2535 2540 2545 2550 2555 2560 2565 2570 2575 2580 2585 2590 2595 2600 2605 2610 2615 2620 2625 2630 2635 2640 2645 2650 2655 2660 2665 2670 2675 2680 2685 2690 2695 2700 2705 2710 2715 2720 2725 2730 2735 2740 2745 2750 2755 2760 2765 2770 2775 2780 2785 2790 2795 2800 2805 2810 2815 2820 2825 2830 2835 2840 2845 2850 2855 2860 2865 2870 2875 2880 2885 2890 2895 2900 2905 2910 2915 2920 2925 2930 2935 2940 2945 2950 2955 2960 2965 2970 2975 2980 2985 2990 2995 3000 3005 3010 3015 3020 3025 3030 3035 3040 3045 3050 3055 3060 3065 3070 3075 3080 3085 3090 3095 3100 3105 3110 3115 3120 3125 3130 3135 3140 3145 3150 3155 3160 3165 3170 3175 3180 3185 3190 3195 3200 3205 3210 3215 3220 3225 3230 3235 3240 3245 3250 3255 3260 3265 3270 3275 3280 3285 3290 3295 3300 3305 3310 3315 3320 3325 3330 3335 3340 3345 3350 3355 3360 3365 3370 3375 3380 3385 3390 3395 3400 3405 3410 3415 3420 3425 3430 3435 3440 3445 3450 3455 3460 3465 3470 3475 3480 3485 3490 3495 3500 3505 3510 3515 3520 3525 3530 3535 3540 3545 3550 3555 3560 3565 3570 3575 3580 3585 3590 3595 3600 3605 3610 3615 3620 3625 3630 3635 3640 3645 3650 3655 3660 3665 3670 3675 3680 3685 3690 3695 3700 3705 3710 3715 3720 3725 3730 3735 3740 3745 3750 3755 3760 3765 3770 3775 3780 3785 3790 3795 3800 3805 3810 3815 3820 3825 3830 3835 3840 3845 3850 3855 3860 3865 3870 3875 3880 3885 3890 3895 3900 3905 3910 3915 3920 3925 3930 3935 3940 3945 3950 3955 3960 3965 3970 3975 3980 3985 3990 3995 4000 4005 4010 4015 4020 4025 4030 4035 4040 4045 4050 4055 4060 4065 4070 4075 4080 4085 4090 4095 4100 4105 4110 4115 4120 4125 4130 4135 4140 4145 4150 4155 4160 4165 4170 4175 4180 4185 4190 4195 4200 4205 4210 4215 4220 4225 4230 4235 4240 4245 4250 4255 4260 4265 4270 4275 4280 4285 4290 4295 4300 4305 4310 4315 4320 4325 4330 4335 4340 4345 4350 4355 4360 4365 4370 4375 4380 4385 4390 4395 4400 4405 4410 4415 4420 4425 4430 4435 4440 4445 4450 4455 4460 4465 4470 4475 4480 4485 4490 4495 4500 4505 4510 4515 4520 4525 4530 4535 4540 4545 4550 4555 4560 4565 4570 4575 4580 4585 4590 4595 4600 4605 4610 4615 4620 4625 4630 4635 4640 4645 4650 4655 4660 4665 4670 4675 4680 4685 4690 4695 4700 4705 4710 4715 4720 4725 4730 4735 4740 4745 4750 4755 4760 4765 4770 4775 4780 4785 4790 4795 4800 4805 4810 4815 4820 4825 4830 4835 4840 4845 4850 4855 4860 4865 4870 4875 4880 4885 4890 4895 4900 4905 4910 4915 4920 4925 4930 4935 4940 4945 4950 4955 4960 4965 4970 4975 4980 4985 4990 4995 5000 5005 5010 5015 5020 5025 5030 5035 5040 5045 5050 5055 5060 5065 5070 5075 5080 5085 5090 5095 5100 5105 5110 5115 5120 5125 5130 5135 5140 5145 5150 5155 5160 5165 5170 5175 5180 5185 5190 5195 5200 5205 5210 5215 5220 5225 5230 5235 5240 5245 5250 5255 5260 5265 5270 5275 5280 5285 5290 5295 5300 5305 5310 5315 5320 5325 5330 5335 5340 5345 5350 5355 5360 5365 5370 5375 5380 5385 5390 5395 5400 5405 5410 5415 5420 5425 5430 5435 5440 5445 5450 5455 5460 5465 5470 5475 5480 5485 5490 5495 5500 5505 5510 5515 5520 5525 5530 5535 5540 5545 5550 5555 5560 5565 5570 5575 5580 5585 5590 5595 5600 5605 5610 5615 5620 5625 5630 5635 5640 5645 5650 5655 5660 5665 5670 5675 5680 5685 5690 5695 5700 5705 5710 5715 5720 5725 5730 5735 5740 5745 5750 5755 5760 5765 5770 5775 5780 5785 5790 5795 5800 5805 5810 5815 5820 5825 5830 5835 5840 5845 5850 5855 5860 5865 5870 5875 5880 5885 5890 5895 5900 5905 5910 5915 5920 5925 5930 5935 5940 5945 5950 5955 5960 5965 5970 5975 5980 5985 5990 5995 6000 6005 6010 6015 6020 6025 6030 6035 6040 6045 6050 6055 6060 6065 6070 6075 6080 6085 6090 6095 6100 6105 6110 6115 6120 6125 6130 6135 6140 6145 6150 6155 6160 6165 6170 6175 6180 6185 6190 6195 6200 6205 6210 6215 6220 6225 6230 6235 6240 6245 6250 6255 6260 6265 6270 6275 6280 6285 6290 6295 6300 6305 6310 6315 6320 6325 6330 6335 6340 6345 6350 6355 6360 6365 6370 6375 6380 6385 6390 6395 6400 6405 6410 6415 6420 6425 6430 6435 6440 6445 6450 6455 6460 6465 6470 6475 6480 6485 6490 6495 6500 6505 6510 6515 6520 6525 6530 6535 6540 6545 6550 6555 6560 6565 6570 6575 6580 6585 6590 6595 6600 6605 6610 6615 6620 6625 6630 6635 6640 6645 6650 6655 6660 6665 6670 6675 6680 6685 6690 6695 6700 6705 6710 6715 6720 6725 6730 6735 6740 6745 6750 6755 6760 6765 6770 6775 6780 6785 6790 6795 6800 6805 6810 6815 6820 6825 6830 6835 6840 6845 6850 6855 6860 6865 6870 6875 6880 6885 6890 6895 6900 6905 6910 6915 6920 6925 6930 6935 6940 6945 6950 6955 6960 6965 6970 6975 6980 6985 6990 6995 7000 7005 7010 7015 7020 7025 7030 7035 7040 7045 7050 7055 7060 7065 7070 7075 7080 7085 7090 7095 7100 7105 7110 7115 7120 7125 7130 7135 7140 7145 7150 7155 7160 7165 7170 7175 7180 7185 7190 7195 7200 7205 7210 7215 7220 7225 7230 7235 7240 7245 7250 7255 7260 7265 7270 7275 7280 7285 7290 7295 7300 7305 7310 7315 7320 7325 7330 7335 7340 7345 7350 7355 7360 7365 7370 7375 7380 7385 7390 7395 7400 7405 7410 7415 7420 7425 7430 7435 7440 7445 7450 7455 7460 7465 7470 7475 7480 7485 7490 7495 7500 7505 7510 7515 7520 7525 7530 7535 7540 7545 7550 7555 7560 7565 7570 7575 7580 7585 7590 7595 7600 7605 7610 7615 7620 7625 7630 7635 7640 7645 7650 7655 7660 7665 7670 7675 7680 7685 7690 7695 7700 7705 7710 7715 7720 7725 7730 7735 7740 7745 7750 7755 7760 7765 7770 7775 7780 7785 7790 7795 7800 7805 7810 7815 7820 7825 7830 7835 7840 7845 7850 7855 7860 7865 7870 7875 7880 7885 7890 7895 7900 7905 7910 7915 7920 7925 7930 7935 7940 7945 7950 7955 7960 7965 7970 7975 7980 7985 7990 7995 8000 8005 8010 8015 8020 8025 8030 8035 8040 8045 8050 8055 8060 8065 8070 8075 8080 8085 8090 8095 8100 8105 8110 8115 8120 8125 8130 8135 8140 8145 8150 8155 8160 8165 8170 8175 8180 8185 8190 8195 8200 8205 8210 8215 8220 8225 8230 8235 8240 8245 8250 8255 8260 8265 8270 8275 8280 8285 8290 8295 8300 8305 8310 8315 8320 8325 8330 8335 8340 8345 8350 8355 8360 8365 8370 8375 8380 8385 8390 8395 8400 8405 8410 8415 8420 8425 8430 8435 8440 8445 8450 8455 8460 8465 8470 8475 8480 8485 8490 8495 8500 8505 8510 8515 8520 8525 8530 8535 8540 8545 8550 8555 8560 8565 8570 8575 8580 8585 8590 8595 8600 8605 8610 8615 8620 8625 8630 8635 8640 8645 8650 8655 8660 8665 8670 8675 8680 8685 8690 8695 8700 8705 8710 8715 8720 8725 8730 8735 8740 8745 8750 8755 8760 8765 8770 8775 8780 8785 8790 8795 8800 8805 8810 8815 8820 8825 8830 8835 8840 8845 8850 8855 8860 8865 8870 8875 8880 8885 8890 8895 8900 8905 8910 8915 8920 8925 8930 8935 8940 8945 8950 8955 8960 8965 8970 8975 8980 8985 8990 8995 9000 9005 9010 9015 9020 9025 9030 9035 9040 9045 9050 9055 9060 9065 9070 9075 9080 9085 9090 9095 9100 9105 9110 9115 9120 9125 9130 9135 9140 9145 9150 9155 9160 9165 9170 9175 9180 9185 9190 9195 9200 9205 9210 9215 9220 9225 9230 9235 9240 9245 9250 9255 9260 9265 9270 9275 9280 9285 9290 9295 9300 9305 9310 9315 9320 9325 9330 9335 9340 9345 9350 9355 9360 9365 9370 9375 9380 9385 9390 9395 9400 9405 9410 9415 9420 9425 9430 9435 9440 9445 9450 9455 9460 9465 9470 9475 9480 9485 9490 9495 9500 9505 9510 9515 9520 9525 9530 9535 9540 9545 9550 9555 9560 9565 9570 9575 9580 9585 9590 9595 9600 9605 9610 9615 9620 9625 9630 9635 9640 9645 9650 9655 9660 9665 9670 9675 9680 9685 9690 9695 9700 9705 9710 9715 9720 9725 9730 9735 9740 9745 9750 9755 9760 9765 9770 9775 9780 9785 9790 9795 9800 9805 9810 9815 9820 9825 9830 9835 9840 9845 9850 9855 9860 9865 9870 9875 9880 9885 9890 9895 9900 9905 9910 9915 9920 9925 9930 9935 9940 9945 9950 9955 9960 9965 9970 9975 9980 9985 9990 9995 10000 10005 10010 10015 10020 10025 10030 10035 10040 10045 10050 10055 10060 10065 10070 10075 10080 10085 10090 10095 10100 10105 10110 10115 10120 10125 10130 10135 10140 10145 10150 10155 10160 10165 10170 10175 10180 10185 10190 10195 10200 10205 10210 10215 10220 10225 10230 10235 10240 10245 10250 10255 10260 10265 10270 10275 10280 10285 10290 10295 10300 10305 10310 10315 10320 10325 10330 10335 10340 10345 10350 10355 10360 10365 10370 10375 10380 10385 10390 10395 10400 10405 10410 10415 10420 10425 10430 10435 10440 10445 10450 10455 10460 10465 10470 10475 10480 10485 10490 10495 10500 10505 10510 10515 10520 10525 10530 10535 10540 10545 10550 10555 10560 10565 10570 10575 10580 10585 10590 10595 10600 10605 10610 10615 10620 10625 10630 10635 10640 10645 10650 10655 10660 10665 10670 10675 10680 10685 10690 10695 10700 10705 10710 10715 10720 10725 10730 10735 10740 10745 10750 10755 10760 10765 10770 10775 10780 10785 10790 10795 10800 10805 10810 10815 10820 10825 10830 10835 10840 10845 10850 10855 10860 10865 10870 10875 10880 10885 10890 10895 10900 10905 10910 10915 10920 10925 10930 10935 10940 10945 10950 10955 10960 10965 10970 10975 10980 10985 10990 10995 11000 11005 11010 11015 11020 11025 11030 11035 11040 11045 11050 11055 11060 11065 11070 11075 11080 11085 11090 11095 11100 11105 11110 11115 11120 11125 11130 11135 11140 11145 11150 11155 11

ては、ヒータとセンサは薄膜部材の長手方向に沿って配置されており、空気の流れも図示されているように典型的には薄膜部材の長手方向と平行になるように配置される。空気の流れが薄膜部材の横方向に合わされたとき表面の形状で小さな乱流が発生する可能性があるのに対して、これらの実施例の長所は、この小さな乱流を引き起こさない連続的な表面を保証するという点にある。第14図の実施例に関連して述べたように、空気の流れを薄膜部材の長手方向に合わせる実施例の考えられる欠点としては、空気の流れを薄膜部材の横方向に合わせる実施例と比べ、薄膜部材の下の方の空気の流れが殆どなくなることである。

本センサを製造するプロセスは、(100)の結晶面を有するシリコンウエハーが用いられ、これの表面36には窒化シリコンの絶縁層29が形成される。この絶縁層29は典型的には4000Åの厚さであり、普通の低圧ガス放電のスパッタリング技術により付着され形成される。次に、典型的には80%のニッケルと20%の鉄からなるパーマロイの様な層を、800Åの厚さをもつて窒化シリコン膜上に、スパッタリングにより付着させる。

適当なフォトリソマスクとフォトリソエッチング液を使うことにより、第2図の22, 24, 26, 38示すようなパーマロイの元素が描かれる。

そして2番目の窒化シリコンの絶縁層28が、スパッタにより付着される。この層の厚さは典型的には4000Åであり、抵抗素子を酸化から防ぐために形成される。

薄膜部材32, 34を形成するために、開口部82(他の実施例では82A, 82C, 82D, etcとラベル付されている)が、窒化シリコンを通して(100)結晶面のシリコン表面までエッチングされる。開口部82の大きさは、ほとんど設計上の選択の問題である。破線114(他の実施例では114A, 114C, 114D, etcとラベル付されている)が空気スペース30のおおよその形状を表わしている。

最後に、窒化シリコンをいためない異方性のエッチング液を使い、制御された方法により、薄膜部材32, 34の下の方のシリコンをエッチングする。エッチング液としては、KOHとイソプロパノールアルコールを混合したものが適している。

空気スペース30の傾斜面は、エッチング液に対して抵抗性のある(111)あるいは他の結晶面により囲まれている。空気スペース30の底面は、エッチング液に対してほとんど抵抗性のない(100)結晶面であり、薄膜部材32, 34から一定の距離すなわち125μmの深さの位置におかれている。この深さは、エッチングの時間を加減することで実現される。空気スペースの深さを制御するために、ホウ素をドーブしたようなエッチングを停止させるストップ層を用いることもできるが、本発明の形成には特に必要ではない。エッチングの時間を加減することで、空気スペース30の深さは約3μmの精度もししくは約2%で制御できることになる。この精度が、薄膜部材を取り囲む空気スペースの熱伝達特性と、空気の流れ速度に対する特性の正確な再現性を導き出すことになる。

第3A図に示されるような片持ちばりの薄膜部材の下や、第3図に示されるような架橋する薄膜部材の下を有効的に削り取るために、第2図に110として示される薄膜部材34の直線エッチは、シリコンの〔110〕結晶軸に対して0でない角度112をもつて配置される。(本発明においては、薄膜部材の直線エッチもしくは軸を、シリコン〔110〕結晶軸に対してある角度で配置するという内容も含んでいるが、薄膜部材のエッチを直線に形成しない、もしくは軸が容易に決定できないような形に薄膜部材を形づくることもありうる。しかしながらこれから述べるように、薄膜部材の配置は、このアンダーカットを最小時間で実現するような角度をもつて配置される。)

角度112をほぼ45°とすることによつて、薄膜部材の下を削り取る時間に最小とすることができ。更に角度を0°としないことで、第3図に示されるような両端を接続しているブリッジの製作が可能となるのである。すなわちこのような架橋する薄膜部材は、薄膜部材の直線エッチをほぼ〔110〕軸方向に配置させたのでは形成することができない。これは薄膜部材の直線エッチが〔110〕軸方向に配置されていると、この直線エッチに沿ってさらされる(111)結晶面に対して、異方性のエッチング液が削りとつていかないことからきている。

角度112を45°にすると、半導体と薄膜部材

との支持境界面をすばやく丸め、平たんにすることになる。これにより、45°に角度を持たない場合に発生する窒化シリコンの絶縁層29の下2つの(111)結晶面の交差点における応力集中点をなくすることができる。

前述したように、いくつかの応用例においては、2つの薄膜部材を連結手段を用いて連結することが望ましい。(この連結手段としては、例えば第10図の連結部94や第14図の連結部94Dを参照)。第10図において、連結部94は、各々の薄膜部材と空気スペース30の底との間のスペースを一樣に保つように働く。すなわちこれらの間の熱伝達特性の一樣性を保つとともに、デバイス内での特性の均一性を補助するのである。同様な理由により、前述したように1つの薄膜部材上には、抵抗素子を1つもしくはそれ以上の素子を配置するか、1つの素子と他のエレメントの一部を同時に配置させた方が好都合である。(第1, 2, 9, 10, 11, 12, 14, 15図参照)。第9図の薄膜部材32と34の架橋部の両終端にみられる小さなエッチング用の長方形の開口部82は、薄膜部材32と34の下シリコンの基板20のアンダーカットをより形成しやすくするために設けられる。しかしながら、このような小さなエッチング用の長方形の開口部82がなくても、センサの性能は満足される。

第3図及び第3A図には、第4図及び第5図に示されるような回路の集積化のための領域116も示されている。これらに示された実施例において、薄膜部材の典型的な大きさは、巾 $127\mu\sim 178\mu$ 、流さ $254\mu\sim 508\mu$ 、厚さ $0.8\mu\sim 1.2\mu$ である。典型的にはパーマロイからなる、熱感知センサ22, 24、ヒータ26、比較抵抗38は、おおよそ $800\text{ }\Omega$  (典型的には $800\text{ }\Omega$ から $1600\text{ }\Omega$ の間にある)の厚さで、その抵抗値は室温すなわち $20\sim 25^\circ\text{C}$ において、おおよそ $200\Omega\sim 2000\Omega$ の間にある。なおパーマロイの抵抗値は、温度が室温から $400^\circ\text{C}$ になると、おおよそ3倍の値に上昇する。パーマロイ格子の線巾は約 $5\mu$ で線間も約 $5\mu$ とすることができる。空気スペース30の深さは典型的には $125\mu$ であるが、この深さはおおよそ $25\mu$ から $250\mu$ の間で容易に変えることができる。シリコンの基板20の厚さは、典型的には $200\mu$ である。以上に示したこれらの値は一例にすぎず、これに

限定するものではない。

薄膜部材の大きさが上述の典型的なものであると、熱容量は非常に小さなものとなる。薄膜部材とヒータと熱感知センサの熱容量が極めて小さい点と、これらが窒化シリコン層という薄い絶縁手段により基板に支持されることで熱的に絶縁されている点と、これらを取り囲む空気スペースの存在により、応答時間は非常に短いものとなる。実測されたところでは時定数は $0.005$ 秒であつた。したがつて熱感知センサが空気の流れの変化に対して非常にすばやく応答できる。また、望むならばヒータを $50\text{Hz}$ もしくはそれ以上の周波数でパルス的に駆動させることも可能となる。

ヒータ26の動作温度は、典型的には $100^\circ\text{C}\sim 400^\circ\text{C}$ の間に設定されるが、望ましい動作温度としては周囲に対しておおよそ $200^\circ\text{C}$ 高く設定する。パーマロイ素子を用いるならば、これはわずか $2\sim 3\text{ mW}$ の電力にて実現できる。こういう電力レベルあれば集積回路で対応できるので、前述したように望むならばセンサとともに同じシリコン基板上に製作することも可能である。

$25^\circ\text{C}$ において $600\Omega$ から $1000\Omega$ の間の抵抗を有するヒータ抵抗素子を使うならば、 $2\sim 3\text{V}$ の電圧、 $2\sim 3\text{ mA}$ の電流を用いることで適切な動作温度になるための電力消費を与えることになる。又、本実施例において、パーマロイのヒータ素子の抵抗値を $600\Omega$ から $1000\Omega$ の間に選択したのは、エレクトロマイグレーションによる素子の損傷という因子もあるからである。エレクトロマイグレーションとは電流密度がある臨界値を越えるとき、物質の移動によつて引き起こされる導電体内部の損傷メカニズムであり、温度に依存している。パーマロイに関してのこの臨界値は $25^\circ\text{C}$ において $10\times 10^6\text{ A}/\text{cm}^2$ のオーダーである。望ましい実施例として、ヒータ素子の抵抗値は典型的には $600\Omega\sim 1000\Omega$ 、線巾は $5\mu$ 、そして厚さは $0.08\mu$ に設定されているので、電流密度は実質的に約 $0.6\sim 10^6\text{ A}/\text{cm}^2$ より小さなものとなる。この程度の電流密度では、エレクトロマイグレーションは有害な因子ではない。

工業上で用いられている標準の温度センサのインピーダンスは $100\Omega$ 程度である。しかしながら本発明の目的からして、そのような小さい抵抗値のセンサは、本発明の実施例において用いられて

いる25℃で600Ω～1000Ωの抵抗値を有し厚さが  
おおよそ0.08μのものに比べて、望ましいもの  
ではない。例えば、製造する上で、上流と下流に位  
置する2つの熱感知センサの抵抗値は0.1%の程  
度の精度で一致させることが望ましい。この一致  
は、より高い抵抗値を使うことでより容易とな  
る。その上より高い抵抗値のセンサを用いれば、  
シリコンチップ上のリード部に関する抵抗値の  
違いとつた望ましくない影響も減ずることができ  
る。更に、空気の流れがわずかに変化したこと  
による電圧の変化を、小さな電流で正確に得るこ  
とにするためには、より高い抵抗を使うことが必要  
となってくる。加えるに、小さな電流を使えば、  
熱感知センサ自身の自己発熱を避けることができ  
る。この場合、この熱感知センサの自己発熱は、  
ヒータの熱の場を変化させ、空気の流れに対する  
温度感度を減少させるのであるが、そうひどい影  
響とはならない。加えるに、熱感知センサに流れ  
る電流が大きくなると、空気の流れがないときの  
2つのセンサの間の色々な不一致といった望まし  
くない影響を大きくしてしまうことになる。

製造上の目的からすれば、ヒータと熱感知セン  
サの両方のパーマロイの厚さを同じに選べば、よ  
り簡単になり、より経済的になる。この観点から、  
前述したように本実施例でも、ヒータと熱感知  
センサの抵抗値は、典型的には0.08μ厚のパー  
マロイにより似たような値であるとともに容易に  
実現できる値となつている。

沢山の計画中の応用に関しても、本発明の望ま  
しい素子は、前述したきたように、パーマロイの  
抵抗素子である。薄膜部材32、34が薄い窒化  
シリコン層に包まれているので、パーマロイ素子  
は空気による酸化から防がれて、400℃を越す温  
度のヒータ素子としても用いることが可能となる。  
このパーマロイ素子の抵抗の温度依存性は白金  
と類似しており、どちらも0℃において4000ppm  
の抵抗温度係数を有している。しかしながら、  
本発明の構造に対しては白金よりもパーマロイ  
の方が優れている。白金も温度検知用の抵抗  
素子として普通に使われているが、パーマロイ  
のおおよそ2倍の抵抗値を有するという利点がある。  
しかも、薄膜状でみるならば、パーマロイの  
抵抗温度係数は800～1600Åの厚さで最大をと  
るが、一方、白金は少なくとも3500Åの厚さにな

つてしまう。パーマロイの抵抗温度係数はおおよ  
そ1600Åの厚さで最大となるが、本発明で800Å  
を選んだのは、抵抗値が2倍になる点と、抵抗温  
度係数も1600Åの値からわずかに小さいにすぎな  
いからである。従つて800Åの厚さのパーマロイ  
素子を用いることで、白金に要求されるわずか1/  
8の表面積で同じ抵抗値を実現できることになる。  
すなわち、パーマロイを使うことでヒータとセン  
サの熱効率を増せるとともに、要求される表面積  
を小さくできるので価格も下げられることにな  
る。

すなわち、本発明においては、開示したよう  
に、パーマロイ素子は微小構造の温度変化検出セ  
ンサ素子とヒータ素子の両方に用いられる。

更にパーマロイからなるヒータとセンサを1μ  
程度の厚さの窒化シリコンの絶縁層中に包み込む  
ことで、特に高い温度で問題となる酸化の現象に  
対しての保護膜を提供している。窒化シリコンの  
絶縁層は、シリコン基板からパーマロイ素子を熱  
的に絶縁する機能も有する。そして窒化シリコン  
は、エッチングに対して高い抵抗性を有している  
ことから、薄膜部材32、34の寸法を精度よく  
コントロールすることもできる。更に、この窒化  
シリコンの有しているエッチングに対して高い抵  
抗性の特性から、空気スペース30の深さをエッ  
チングにより25～250μといったように深くでき  
ることになる。この空気スペースは、最も重要で  
ある熱伝達因子を決定する。

以上のように、本発明の望ましい実施例として  
は、開示したような微小構造とのかね合いから、  
パーマロイで熱感知センサとヒータを形成する。  
窒化シリコンの絶縁層は支持用材料として、また  
望む構造を形成するために必要なエッチング時間  
を実現するための保護的材料として用いられる。  
更に前述したように、薄膜部材をシリコン結晶面  
に対して適切に配向させることで、人工的なエッ  
チング停止手段を使うことなく望む構造を形成で  
けるとともに、最小時間で削りとることができる  
ことになる。更に、異方性のエッチングを用いる  
ことで25～250μといった深い空気スペースを形  
成することにより、抵抗素子を集積化半導体デバ  
イスに普通に配置する方法に比べて、大きな熱的  
絶縁が実現されることになる。

本発明の要旨は、実施例に述べてきたものに限

29

30

定されるものではない。例えば、熱感知センサ素子やヒータ素子はパーマロイに限るものではなく、適切なものであれば何でもよい。他の例としては、酸化亜鉛膜のような焦電型材料や、薄いフィルム状の熱電対や、半導体材料のサーミスタ膜や、パーマロイ以外の好ましい抵抗温度係数をもつ金属膜があるであろう。注意しなくてはならないことは、本文では時々、測定される流れの媒体としては空気であることを述べてきたが、本発明は他の沢山のガス性の物質に対して応用できるものであることを加えておく。すなわち、本発明の

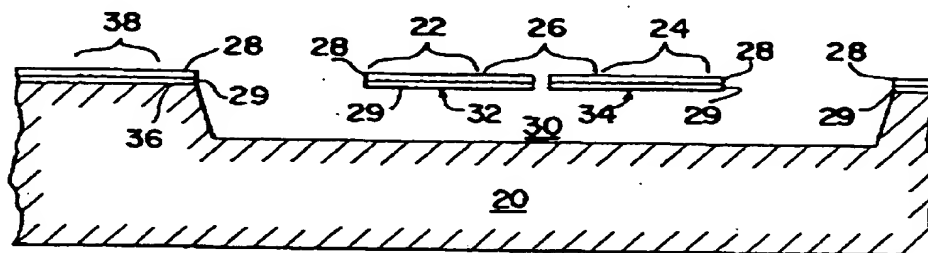
応用上の目的からして、“空気”と使われる言葉の意味は一般的なガス性の物質を含んでいると定義することにする。

#### 図面の簡単な説明

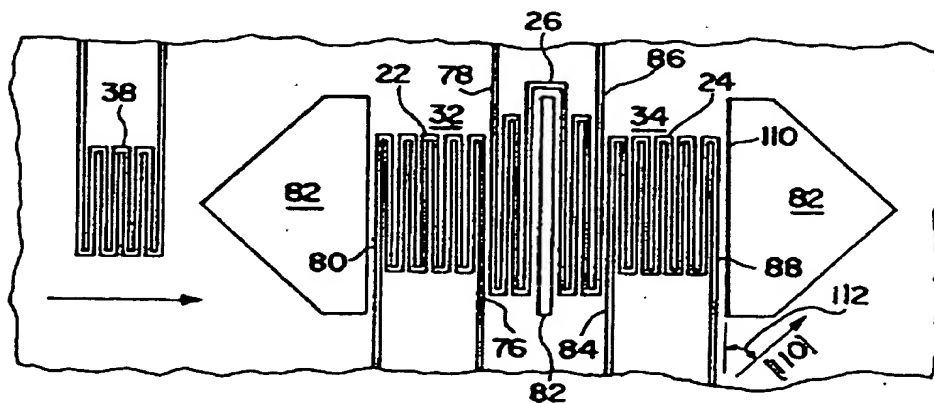
第1、2、3、3A図と第9～15図には、本発明の実施例を示す。第4図と第5図には、本発明に使う回路例を示す。第6、7、8、16、17図には、本発明の特性図を示す。

20……基板、22、24……熱感知センサ、26……ヒータ、28、29……絶縁層、30……空気スペース、32、34……薄膜部材。

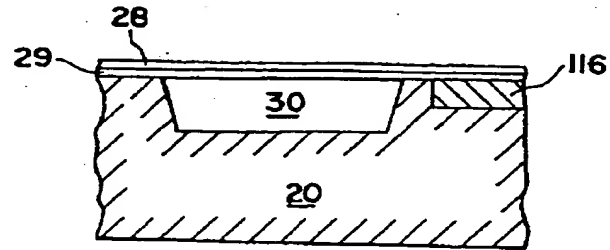
第1図



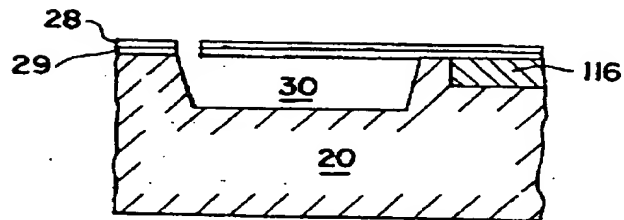
第2図



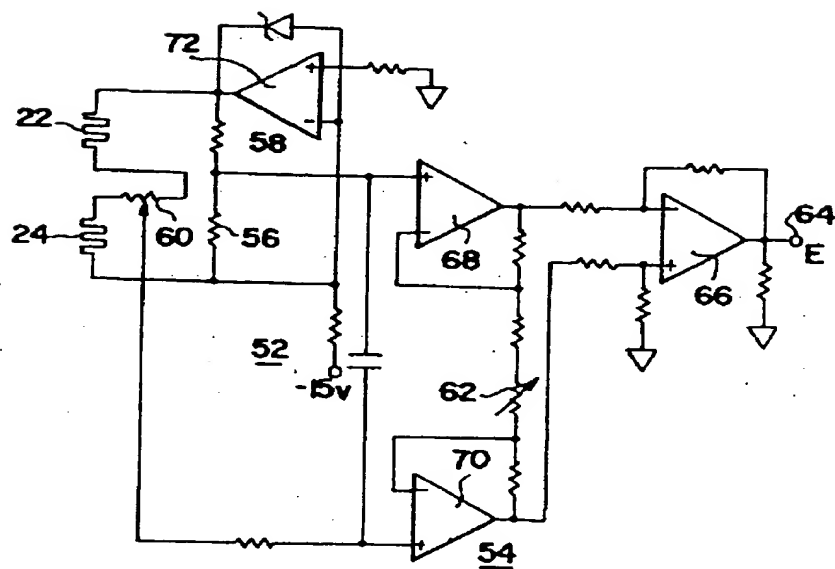
第3図



第3図 A

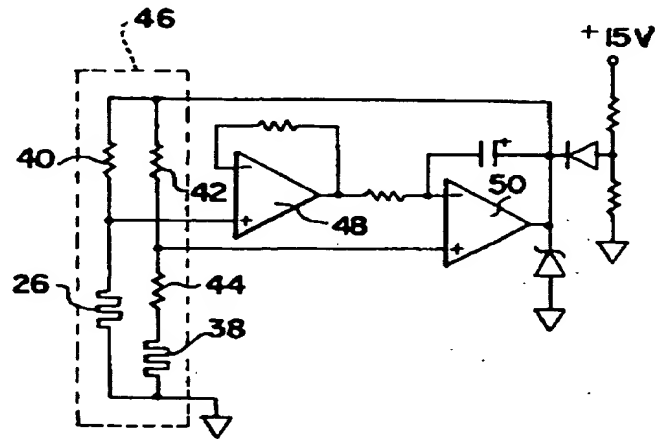


第5図

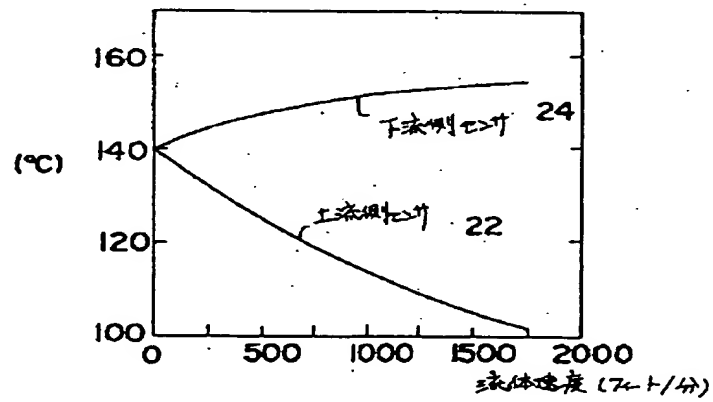




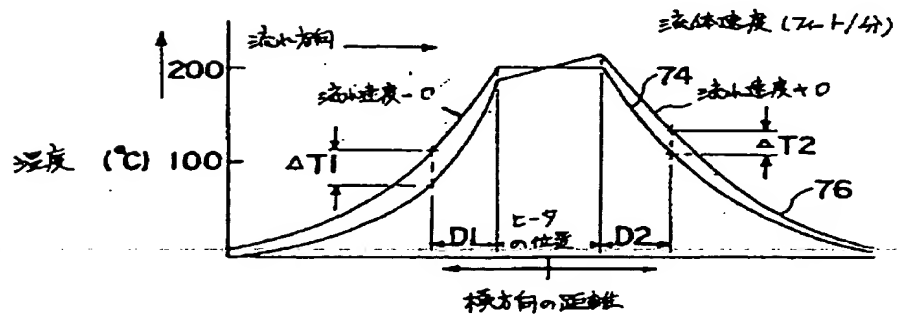
第4図



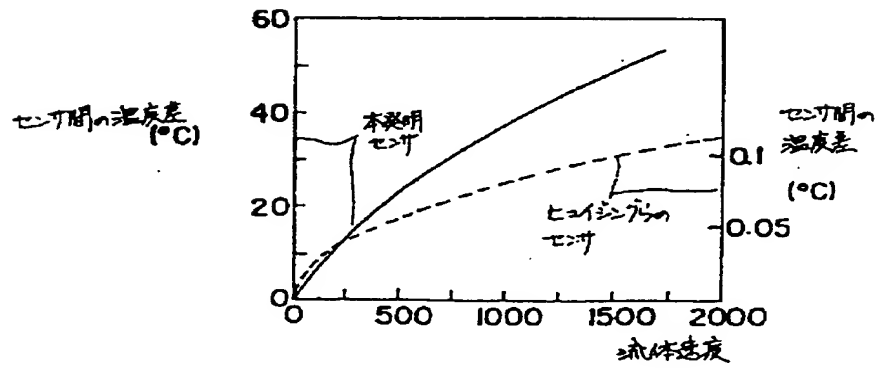
第6図



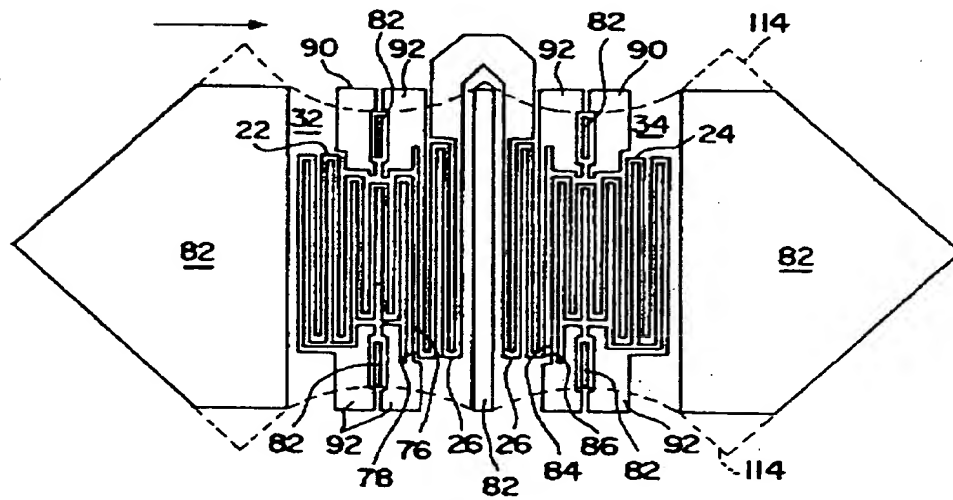
第7図



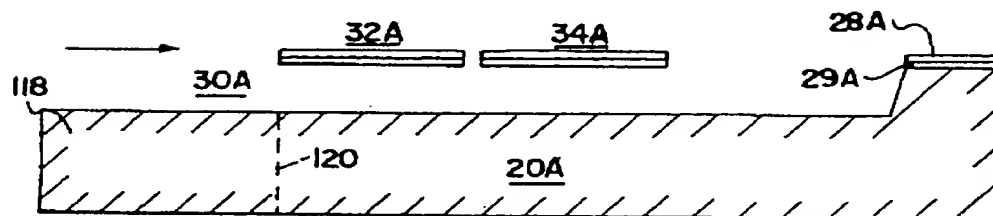
第 8 図



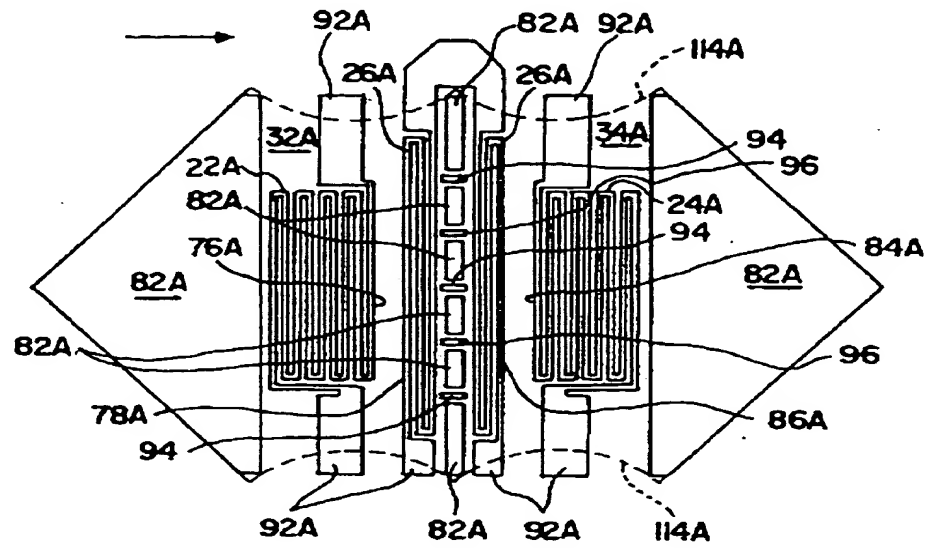
第 9 図



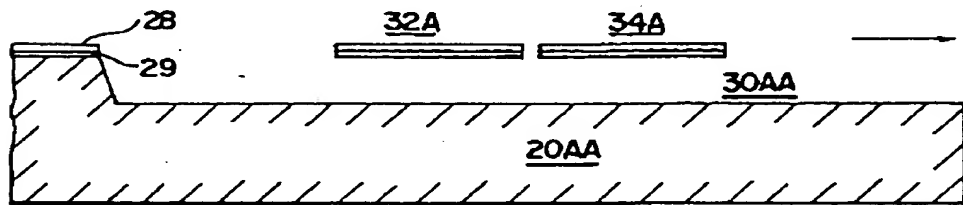
第 11 図



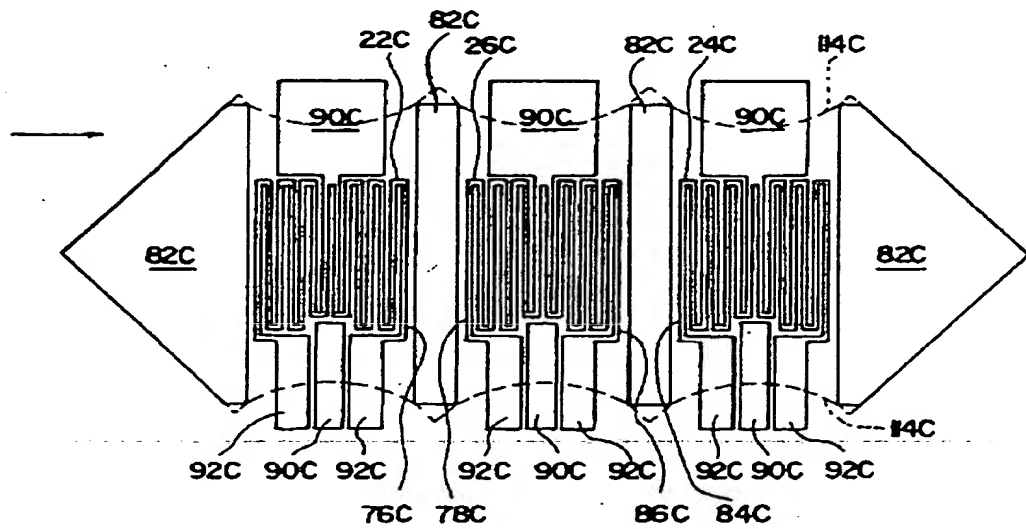
第 10 图



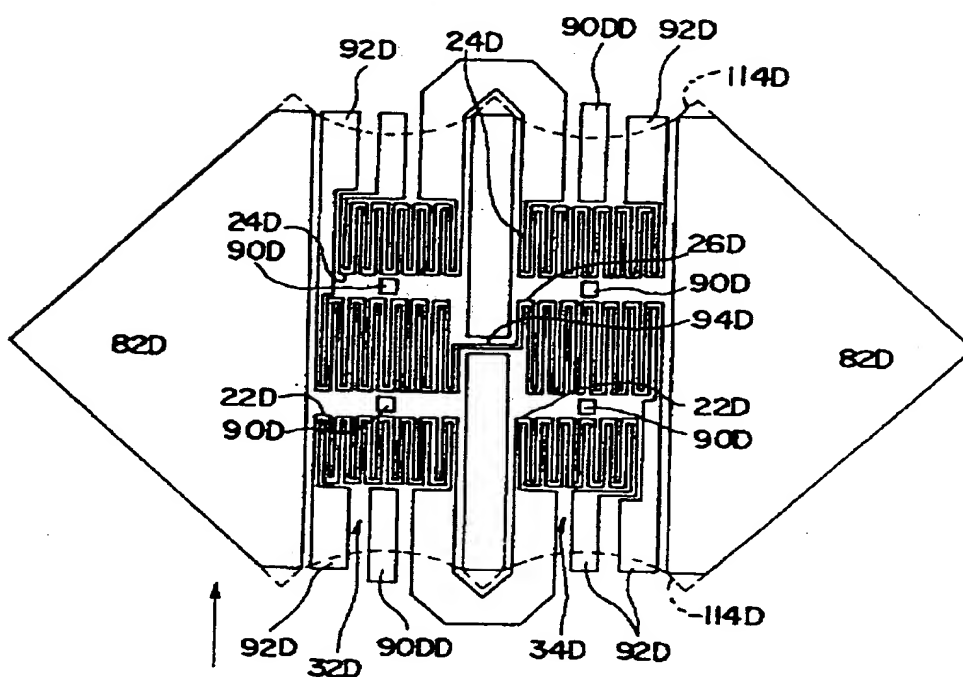
第 12 图



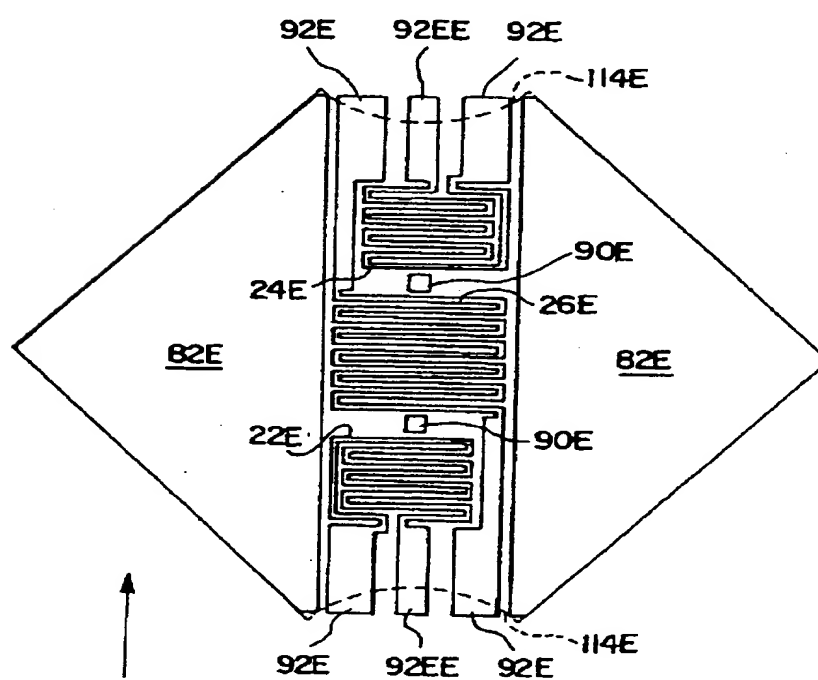
第 13 图



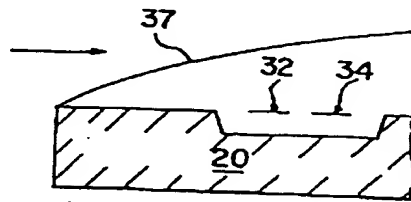
第 14 図



第 15 図



第 16 図



第 17 図

